

Ankara'daki hava kirliliği üzerine bir çalışma

Dr. İlker ETİKAN*, Dr. Reha ALPAR*

Bu çalışmada, çeşitli meteorolojik faktörlerle hava kirliliğinin göstergesi olan SO₂ ve partiküler madde ölçümleri arasındaki ilişkiler çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Buna ilaveten, hava kirliliğini bir gün önceden kestirebilmek için bazı çoklu regresyon modelleri elde edilmiştir.

Hava kirliliği sorunu olan yerlere bir örnek olabilmesi için Ankara'nın 1989 Yılı verileri kullanılmıştır. [Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi 2(2):184-188,1995]

Anahtar Kelimeler : Hava kirliliği, çoklu regresyon, diskriminant analizi

A study on air pollution in Ankara

In this study, relationships between various meteorologic factors and SO₂ - particular substance measures which are the indicators of air pollution were examined by multivariate statistical methods.

In addition to this, in order to estimate the level of air pollution a day before, some multiple regression models have been established.

Since it can be an example to the places which have been suffering from air pollution, data from Ankara in 1989 was used. [Journal of Turgut Özal Medical Center 2(2):184-188,1995]

Key Words : Air pollution, multiple regression, discriminant analysis

Tarihi çok eskilere dayanmakla birlikte, İkinci Dünya Savaşından sonra büyük oranda artış gösteren hava kirliliği insan-hayvan-bitki sağlığına yaptığı olumsuz etkileri ve gereksiz ekonomik kayıplar nedeniyle günümüzün en önemli sorunlarından birisidir ve daha uzun yıllar önemli bir sorun olmaya devam edecektir. İkinci Dünya Savaşından sonra hızla büyüyen sanayileşme ve endüstrileşme, bir yandan bıraktığı duman ve zehirli gazlarla havayı kirletirken diğer yandan köysel bölgelerden kentsel bölgelere toplu göçlere neden olmuş ve dolayısıyla hava kirliliğinin en önemli etkenlerinden birisi haline gelmiştir. Köysel bölgelerden kentsel bölgelere olan hızlı göç, kentlerin sağlıksız olarak hızlı bir biçimde büyümesine ve hızlı nüfus artışına, dolayısıyla havaya daha fazla yakıt dumanı ve atığı verilmesine neden olmuştur. Bunun yanında kullanılan yakıt maddelerinin kötü nitelikte olması, kimi yerleşim yerlerinin topografik yapısı ve meteorolojik koşullarının yetersiz oluşu da eklenince hemen tüm ülkelerde hava kirliliği büyük sorun olmaya başlamış ve günümüze dek büyüyerek

devam etmiştir. Şimdilik hava kirliliği sorunu olmayan yer ve bölgelerde de yakın bir gelecekte büyük sorunlarla karşılaşılması olasılığı çok yüksektir¹.

Gerek diğer ülkelerde gerekse ülkemizde, özellikle Ankara'da, hava kirliliğinin kötü etkilerinden kurtulmak için çareler düşünülmekte ve bazı önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Hava kirliliğiyle savaşta en önemli faktör havanın kirlenmesini önlemektir. Başka bir deyişle, kirliliği kaynağında kurutmaktır. Bu, hava kirlenmesine neden olmayacak nitelikte yakıt kullanmakla ya da yerleşim yerlerini endüstri merkezlerinden uzakta ve hakim rüzgarların şehri temizleyebileceği yerlerde kurmakla sağlanabilir. Oysa, Ankara şehrinin yerleşim alanı ve nüfusu hızla artmaktadır. Topografik yapısı çanak biçiminde olduğundan hakim rüzgarlara da kapalı bir bölgedir. Şehirde motorlu araç sayısının günden güne artması, bunun yanında gerek motorlu araçların tükettiği gerek ısınma için kullanılan yakıtların iyi nitelikli olmaması özellikle doğalgaza geçmeden önce

* : Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Bilim Dalı - Ankara

şehirdeki hava kirlenmesini sağlığa önemli derecede kötü etki edecek konsantrasyonlara ulaştırmaktaydı. Ancak, ülkemizde halen Ankara'nın bundan 3-15 yıl önceki sıkıntılarını paylaşan birçok il ve ilçe bulunmaktadır. Kirliliği kaynağında kurutmak için gerekli ileriye yönelik önlemlerin alınması hem zaman alacaktır, hem de pahalı yatırımlara gerektirecektir. Bugün için Ankara'da hava kirlilik oranının oldukça düştüğünü söylemek mümkündür. Ancak bunu söylemek birçok il ve ilçe için halen mümkün değildir. Bu tür bölgelerde alınabilecek en önemli acil önlem, bir ERKEN UYARI sisteminin kurulması ve işletilmesi olarak düşünülebilir.

Erken uyarı için havadaki kükürtdioksit ve partiküler madde miktarlarının insan sağlığına zarar verebileceği konsantrasyonlara ulaşması beklenen günlerin hatta saatlerin önceden bilinmesi ve ilgili yöneticilere iletilmesi gerekir. Bunu sağlamak için de havadaki kükürtdioksit ve partiküler madde miktarlarının hiç olmazsa bir gün öncesinden tahmin edilmesi gerekir¹⁻³.

Bu çalışma; 1. Meteorolojik faktörlerle kükürtdioksit ve partiküler madde arasındaki ilişkiyi saptayarak elde edilen bulguların ışığı altında havadaki kükürtdioksit ve partiküler madde miktarlarının önceden tahmininde kullanabilecek model(lerin) geliştirilmesi, 2. Bu amaçla elde edilen, kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri ile diğer meteorolojik verileri çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle incelenmesi amaçlarıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Çalışmada, şu anda özellikle hava kirlenmesi ile ilgili sorunları olan yerlere bir örnek olması açısından, Ankara'nın 1989 yılına ilişkin verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, Ankara'daki dört bölgeye (Kavaklıdere, Bahçeli, Cebeci ve Çankaya) ilişkin bir gün sonraki günlük ortalama kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri bağımlı değişkenler olarak elde edilirken; Erken uyarı sistemine uygun model geliştirebilmek için bir önceki güne ilişkin meteorolojik değişkenler (39 değişken) bağımsız değişkenler olarak çalışmaya alınmıştır. Ancak elde edilen meteorolojik değişkenler bölgeler bazında ölçüm yapılmadığından Ankara ölçümü olarak değerlendirilmeye alınmıştır.

Bu bölgelerin özellikle araştırmaya alınmasının nedeni; Kavaklıdere ve Bahçeli'nin çok kirli, Cebeci'nin orta derecede kirli, Çankaya'nın ise az kirli bölge olarak bilinmesidir.

Çalışmada önce, ERKEN UYARI sistemini

oluşturmak amacıyla bir sonraki güne ilişkin kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri bağımlı değişkenler, bir önceki güne ilişkin meteorolojik faktörler ise bağımsız değişkenler olarak alınarak bölgelere ilişkin regresyon modelleri geliştirilmiştir. Model geliştirmede STEPWISE regresyon yöntemi kullanılmış ve sonuç modeller, model varsayımlarında meydana gelen bozukluklar (artıkların normal dağılmaması, çoklu bağlantı vb) giderildikten sonra verilmiştir. Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı sorununun giderilmesi, ilgili değişkenlerin toplanması ile elde edilen yeni bir değişkenin modele sokulması ile yapılmıştır. Ayrıca; değişkenler üzerinde değişik dönüşümler yapılarak en uygun modelin elde edilmesine çalışılmıştır. Yapılan birçok dönüşüm arasında daha çok Logaritmik dönüşümün uygun modeli sağlamada etkin olduğu gözlenmiş ve bu nedenle "Bulgular" bölümünde sadece logaritmik dönüşümlere ilişkin sonuçlar verilmiştir. Ayrıca; logaritmik dönüşümler, bu değişkenlerin normal dağılıma uygun hale gelmesini sağlamıştır⁴.

Bölgelere ilişkin kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri arasında fark olup olmadığı çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) ile incelenmiş ve sonuçlar verilmiştir⁵.

Kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri dikkate alınarak bölgelere göre ayırıcı fonksiyonlar bulunmuştur⁵.

Bölgelere ilişkin kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki kanonik korelasyon analizi ile araştırılmıştır⁵.

BULGULAR

A. Stepwise regresyon yöntemine göre bulunan ve model bozuklukları giderildikten sonra elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir.

Kükürtdioksit bağımlı değişken olarak alındığında Kavaklıdere bölgesi için Tablo I'de, Bahçelievler bölgesi için Tablo III'de, Cebeci bölgesi için Tablo V'de ve Çankaya bölgesi için Tablo VII'de çoklu regresyon modeli ile ilgili istatistikler verilmiştir.

Partiküler madde bağımlı değişken olarak alındığında Kavaklıdere bölgesi için Tablo II'de, Bahçelievler bölgesi için Tablo IV'de, Cebeci bölgesi için Tablo VI'da ve Çankaya bölgesi için Tablo VIII'de çoklu regresyon modeli verilmiştir.

B. Araştırmaya giren dört bölge arasında kükürtdioksit ve partiküler madde miktarları arasında fark olup olmadığı çok değişkenli varyans

Etikan ve ark.**Ankara'daki hava kirliliği üzerine bir çalışma****Tablo I.** Kavaklıdere bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (kükürtdioksit))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
Yağış miktarı	-0.087	0.0274	-3.19	0.003
12.00 z ölçümü 850 mb yön	-0.002	7.72*10 ⁻⁴	-2.62	0.011
00.00 z ölçümü 850 mb hız	0.111	0.0264	4.19	0.000
00.00 z ölçümü 850 mb yön	-3.86*10 ⁻⁴	6.99*10 ⁻⁴	-0.55	0.583
Saat 7.00 görüş mesafesi	-3.53*10 ⁻⁵	7.81*10 ⁻⁶	-4.52	0.000
12.00 z ölçümü delta T	-0.052	0.0394	-1.33	0.189
Min sic.+ Saat 7.00 sıcaklık	-0.045	0.0050	-8.95	0.000
Sabit	5.828	0.2804	20.78	0.000
F= 25.740 p=0.00 S.H.=0.515 R ² =0.783 N=57				

Tablo II. Kavaklıdere bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (partiküler madde))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü 850 mb hız	-0.048	0.0100	-0.48	0.6290
00.00 z ölçümü 700 mb yön	-1.32*10 ⁻⁴	3.01*10 ⁻⁴	-0.44	0.662
Çalışma ayı	-0.012	0.0091	-1.294	0.198
Günlük ortalama bulutluluk	-0.10.19	0.0092	-2.08	0.039
12.00 z ölçümü 850 mb hız	-0.004	0.0096	-0.44	0.660
Saat 21.00 görüş mesafesi	-1.04*10 ⁻⁵	4.36*10 ⁻⁶	-2.39	0.018
Saat 7.00 bağıl nem oranı	-0.001	0.0027	-0.44	0.663
Saat 14.00 görüş mesafesi	-1.89*10 ⁻⁵	4.69*10 ⁻⁶	-4.04	0.000
Saat 7.00 sıcaklık+ saat 14.00 sıcaklık+ saat 21.00 sıcaklık+ ortalama buhar basıncı	-0.005	0.0014	-3.52	0.000
Sabit	5.705	0.2569	22.21	0.000
F= 25.740 p=0.00 S.H.=0.515 R ² =0.783 N=57				

Tablo III. Bahçelievler bölgesi için regresyon modeli (Bağımlı değişken=LOG(kükürtdioksit))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü 850 mb yön	8.82*10 ⁻⁴	4.03*10 ⁻⁴	2.19	0.029
12.00 z ölçümü 500 mb yön	3.37*10 ⁻⁴	5.26*10 ⁻⁴	0.64	0.522
Günlük kalori toplamı	-0.003	4.33*10 ⁻⁴	-8.18	0.000
Ortalama buhar basıncı	-0.229	0.0395	-7.57	0.000
Maximum sıcaklık+ saat 7.00 sıcaklık+ saat 21.00 sıcaklık	-0.002	0.0044	-0.52	0.607
Sabit	7.789	0.2565	30.36	0.000
F= 202.637 p=0.00 S.H.=0.636 R ² =0.781 N=290				

Tablo IV. Bahçelievler bölgesi için regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (partiküler madde))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü 850 mb hız	-0.0296	0.0100	-2.98	0.004
00.00 z ölçümü 500 mb yön	-6.03*10 ⁻⁵	3.19*10 ⁻⁴	-0.19	0.850
12.00 z ölçümü 850 mb hız	-0.0025	0.0097	-0.26	0.798
Saat 14.00 görüş mesafesi	-1.80*10 ⁻⁵	3.77*10 ⁻⁶	-4.78	0.000
Günlük kalori toplamı	-0.0016	3.33*10 ⁻⁴	-4.93	0.000
Ortalama buhar basıncı	-0.1672	0.0264	-6.33	0.000
Maximum sıcaklık+ saat 7.00 sıcaklık+ saat 21.00 sıcaklık	0.0092	0.0029	3.13	0.002
Sabit	6.5708	0.1820	36.08	0.000
F= 48.909 p=0.00 S.H.=0.445 R ² =0.543 N=295				

Etikan ve ark.

Ankara'daki hava kirliliği üzerine bir çalışma

Tablo V. Cebeci bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (kükürtdioksit))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü inverziyon kalmılığı	-4.08*10 ⁻³	2.63*10 ⁻⁴	-1.56	0.212
12.00 z ölçümü 850 mb hız	0.0408	0.0173	2.36	0.020
Saat 7.00 bağıl nem oranı	-0.0117	0.0055	-2.11	0.037
Saat 21.00 görüş mesafesi	-1.12*10 ⁻⁵	6.84*10 ⁻⁶	-1.64	0.103
Minimum sıcaklık	-0.1049	0.0079	-13.10	0.000
Saat 14.00 bağıl nem oranı	-0.0068	0.0049	-1.39	0.166
Saat 14.00 görüş mesafesi	-2.74*10 ⁻⁶	7.43*10 ⁻⁶	-0.37	0.174
Günlük toplam kalori	-0.0025	6.36*10 ⁻⁴	-3.93	0.000
Sabit	7.1586	0.5111	14.00	0.000
F= 95.747	p=0.00	S.H.=0.484	R ² =0.862	N=131

Tablo VI. Cebeci bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (partiküler madde))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
12.00 z ölçümü delta T	-0.0638	0.0166	-3.83	0.000
00.00 z ölçümü inverziyon kalmılığı	4.26*10 ⁻⁴	2.20*10 ⁻⁴	1.94	0.055
Günlük ortalama bulutluluk	-0.0616	0.0115	-5.37	0.000
Saat 7.00 bağıl nem oranı	0.0123	0.0033	3.72	0.000
00.00 z ölçümü delta T	0.0213	0.0184	1.16	0.249
Saat 21.00 görüş mesafesi	-7.46*10 ⁻⁶	4.21*10 ⁻⁴	-1.77	0.078
Günlük kalori toplamı	-0.0029	3.52*10 ⁻⁴	-8.26	0.000
Sabit	4.8837	0.3605	13.55	0.000
F= 46.566	p=0.00	S.H.=0.354	R ² =0.719	N=134

analizi (MANOVA) ile araştırılmıştır. Buna ilişkin analizler logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra yapılmıştır. Buna göre; kükürtdioksit açısından bölgeler arasında fark bulunamamıştır, buna karşın partiküler madde açısından Kavaklıdere - Çankaya ve Bahçelievler - Çankaya bölgelerinde farklılıklar

Tablo VII. Çankaya bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı değişken = LOG (kükürtdioksit))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü karışım yüksekliği	0.000	0.0000	2.45	0.015
Çalışma günü	-0.003	0.003	-0.92	0.358
00.00 z ölçümü 500 MB hız	-0.005	0.0050	-0.84	0.403
00.00 z ölçümü 500 mb yön	0.000	0.000	1.11	0.151
Saat 7.00 basmç ölçümü	0.012	0.0070	1.74	0.082
Saat 21.00 görüş mesafesi	-0.000	0.000	-3.57	0.000
00.00 z ölçümü 700 mb hız	0.007	0.0070	0.89	0.374
Günlük kalori toplamı	-0.002	0.0000	-5.63	0.000
Saat 7.00 Sıcaklık	-0.074	0.0060	-13.30	0.000
Sabit	-5.598	6.5730	-0.85	0.395
F= 144.54	p=0.00	S.H.=0.394	R ² =0.845	N=248

Tablo VIII. Çankaya bölgesi için çoklu regresyon modeli (Bağımlı Değişken = LOG (partiküler madde))

Değişkenler	Reg. kat.	St. hata	t	p
00.00 z ölçümü delta T	0.0258	0.0171	1.52	0.131
Çalışma günü	0.0014	0.0029	0.48	0.633
Günlük kalori toplamı	-0.0015	2.23*10 ⁻⁴	-6.57	0.000
00.00 z ölçümü inverziyon kalmılığı	1.84*10 ⁻⁴	1.83*10 ⁻⁴	1.00	0.317
Saat 21.00 görüş mesafesi	-1.99*10 ⁻⁵	3.38*10 ⁻⁶	-5.90	0.000
Sabit	5.0718	0.1079	46.97	0.000
F= 52.425	p=0.00	S.H.=0.419	R ² =0.509	N=257

gözlenmiştir (Wilks' Lambda = 0.836, F = 36.519, p=0.000).

C. Herhangi bir bölge ya da şehir için elde edilecek kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümlerinin incelenen dört bölgeden birine atanıp atanamayacağını belirlemek amacı ile diskriminant analizi yapılmış ve elde edilen Fisher doğrusal diskriminant fonksiyonu (Tablo IX) sonucunda doğru sınıflama yüzdesi 40.42 bulunmuştur.

Etikan ve ark.

Ankara'daki hava kirliliği üzerine bir çalışma

Tablo IX. Fisher doğrusal diskriminant analizi sonuçları

Değişken	BÖLGELER			
	Kavaklıdere (N=324)	Bahçeli (N=291)	Cebeci (N=205)	Çankaya (N=328)
PM	18.5361	19.2933	20.3841	16.5424
SO ₂	-4.3297	-4.6741	-5.2583	-3.4702
(SABİT)	-32.5465	-34.3544	-36.6995	-27.9348

Wilks' Lambda = 0.794682, Ki-Kare = 262.906, sd = 6, p = 0.000

Wilks' Lambda'sı önemli çıkmakla birlikte model sonucunda elde edilen toplam sınıflama yüzdesinin 40.42 gibi düşük bir değerde olduğu bulunmuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmamızda STEPWISE çoklu regresyon yöntemi ile elde edilen çoklu regresyon modellerinde kükürtdioksit için özellikle Kavaklıdere, Bahçelievler, Cebeci ve Çankaya bölgeleri için yüksek çoklu belirtme katsayılarına ulaşılmıştır. Partiküler madde için ise sadece Cebeci bölgesinde yüksek bir çoklu belirtme katsayısına ulaşılabilmektedir. Özellikle çoklu belirtme katsayısı 1'e yakın olan denklemler yardımı ile bir sonraki güne ilişkin kükürtdioksit ve partiküler madde miktarları için kestirimlerde bulunulabilir.

Diğer taraftan, diskriminant analizi sonucunda bölgelere göre elde edilen ayırıcı fonksiyonlara ilişkin toplam sınıflama yüzdesinin düşük olması (% 40.42) elde edilen fonksiyonların pratikte kullanılmayacağını getirmektedir. Eğer bu yüzde yüksek çıksa idi kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri elde edilen herhangi bir şehirin incelenen dört bölgeden hangisi ile benzer düzeyde kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümlerine sahip olduğu kolaylıkla bulunabilecekti. Ayrıca, yapılan MANOVA testi sonucu da bu sonucu desteklemektedir.

Diğer taraftan, araştırmada kullanılan meteorolojik ölçümler her semt için ayrı olarak

yapılamamaktadır. Bu nedenle Keçiören semtinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde yapılan ölçümlerle araştırma yapılan Kavaklıdere, Bahçelievler Çankaya, Cebeci semtlerindeki ölçümlerde farklılıklar olabilir. Yerel ölçümler yapılabildiğinde daha güvenilir modeller geliştirilebilir.

Kükürtdioksit ve partiküler madde ölçümleri Refik Saydam Hıfzıssıha Merkezi'nce günlük 24 saatlik ortalama olarak verilmiştir. Bu da modellere belirli bir miktarda etkide bulunabilir. Anlık ölçümler verilebildiğinde daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

Bazı meteorolojik faktörler havanın temiz ya da kirliliğinde önemli rol oynayabilmektedir. Örneğin rüzgar hızı havadaki kükürtdioksit ve partiküler maddeyi etkileyen önemli bir faktördür. Rüzgar belirli bir hızda eserse havayı temizler, ancak Ankara'da rüzgar çok az estiği ve estiğinde de kuvvetli esmediği için Ankara'da önemli bir faktör olarak çoğu kez gözükmemektedir.

KAYNAKLAR

1. Sümbüloğlu K, Sümbüloğlu V, Yeşilyurt C, Örmeci M. Ankara havasındaki kükürtdioksit ve duman konsantrasyonlarını önceden tahmin edebilecek modeller geliştirilmesi. TÜBİTAK, Ankara 1988.
2. Yumurtuğ S, Sungur T. Hijyen ve Koruyucu Hekimlik. Ankara, 1.bs, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayınları, Sayı: 393, 1980.
3. Müezzinoğlu A. Hava Kirliliği Kontrolü. Mimograf, SEGEM Seminer Notları, Ankara, 21-25 Kasım 1983.
4. Draper NR, Smith H. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons Inc 1982.
5. Manly Bryan F J. Multivariate Statistical Methods, A Primer. Chapman and Hall 1986.

Yazışma adresi : Doç.Dr.Reha ALPAR
Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi
Biyoistatistik Bilim Dalı Öğretim Üyesi
ANKARA